



**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

ersten Stellglied (9) nachgeordnet und weist eine obere Endstellung, bei der es maximal geöffnet ist und eine untere Endstellung, bei der es maximal geschlossen ist, auf. Die Ist-Drehzahl (N) der Brennkraftmaschine (1) wird erfasst, und zur Ansteuerung des ersten Stellgliedes (9) wird ein Soll-Ansaugrohrdruck (sP) vorgegeben, wobeisolang das zweite Stellglied (8) nicht an der untere Endstellung steht, der Soll-Ausgangsrohrdruck (sP) mittels eines drehzahlabhängigen Kennfeldes (21) ermittelt wird, in das der Soll-Luftmassenstrom (sMF) nicht eingeht. Eine Begrenzung des Soll-Ansaugrohrdruckes (sP) auf einen Ansaugrohrdruck-Minimalwert (PMIN-V) wird vorgenommen, der beim aktuellen Soll-Luftmassenstrom (sMF) mit an die obere Endstellung gestelltem zweiten Stellglied (8) erreichbar ist.

## Beschreibung

## Verfahren zur Füllungsregelung einer Brennkraftmaschine

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Füllungsregelung einer Brennkraftmaschine, deren Brennkammern ein Verbrennungs-Luftmassenstrom zugeführt wird, welcher durch ein erstes und ein zweites Stellglied auf ein Soll-Luftmassenstrom eingestellt wird, die hinsichtlich ihrer Lage  
10 angesteuert werden, wobei das zweite Stellglied im Luftmassenstrom dem ersten Stellglied nachgeordnet ist und eine obere Endstellung, bei der es maximal geöffnet ist und eine untere Endstellung, bei der es maximal geschlossen ist, aufweist, die Ist-Drehzahl der Brennkraftmaschine erfasst wird  
15 und zur Ansteuerung des ersten Stellgliedes ein Soll-Ansaugrohrdruck vorgegeben wird.

Insbesondere bei Brennkraftmaschine mit äußerer Gemischbildung ist es bekannt, über ein im Ansaugtrakt vorgesehenes  
20 Stellglied, den Verbrennungs-Luftmassenstrom und damit die Füllung in den Brennkammern der Brennkraftmaschine zu steuern. Üblicherweise wird dieses Stellglied als Drosselklappe ausgebildet, mit der der Querschnitt des Ansaugtraktes abgesperrt werden kann. Die Stellung der Drosselklappe wirkt sich  
25 dann direkt auf die Füllung aus. Ist die Drosselklappe nicht vollständig geöffnet, so wird die von der Brennkraftmaschine angesaugte Luft gedrosselt und damit das von der Brennkraftmaschine abgegebene Drehmoment reduziert. Diese Drosselwirkung hängt von der Stellung und damit vom Öffnungsquerschnitt  
30 der Drosselklappe ab. Bei vollgeöffneter Drosselklappe wird von der Brennkraftmaschine das maximale Moment abgegeben.

Um eine optimale Steuerung der Drosselklappe zu erreichen, wird diese von einem Stellantrieb mit Lagerückmeldung betätigt.  
35 tigt. Dabei ist ein Steuergerät vorgesehen, das die erforderliche Öffnung der Drosselklappe unter Berücksichtigung des

aktuellen Betriebszustandes der Brennkraftmaschine errechnet und den Drosselklappenstellantrieb ansteuert. Dazu wird eine Farbpedalstellung über einen Pedalwertgeber ausgewertet.

- 5 Um die an der Drosselklappe auftretenden Verluste so gering wie möglich zu halten, ist es bekannt, Einlassventile einer Brennkraftmaschine mit variablem Ventilhub betreiben zu können. Die Einlassventile öffnen dann mit einem einstellbaren Hubverlauf, so dass zumindest in einigen Betriebsphasen der
- 10 Brennkraftmaschine auf die Betätigung der Drosselklappe verzichtet werden kann. Die Füllung der Brennkraftmaschine wird dann ausschließlich über die Einstellung des Ventilhubes gesteuert.
- 15 Sowohl um einen möglichst geringen Verbrauch zu erreichen, als auch um einen möglichst unmerklichen und damit komfortablen Übergang zwischen voll ungedrosseltem Betrieb, d.h. Betrieb der Brennkraftmaschine mit Füllungsregelung unter Mitwirkung der Ventilhubverstellung, und konventionellem gedrosselten Betrieb zu erreichen, wird ein möglichst gleitender Übergang mit ineinandergreifender Wirkung von Ventilhubsteuerung und Drosselklappensteuerung angestrebt.
- 20

- Aus der DE 199 28 560 A1 ist diesbezüglich ein Verfahren der
- 25 eingangs genannten Art bekannt, bei dem ein Soll-Ansaugrohrdruck dem Ansaugrohr durch Steuerung der Drosselklappe eingestellt und der Luftmassenstrom mittels geeigneter Betätigung der Ventilhubverstellung eingeregelt wird. Das gattungsgemäße Verfahren nimmt für sich in Anspruch, eine
- 30 Kombination und eine Übergangsfunktion zweier verschiedener Drehmomentregelsysteme zu schaffen, die in allen Betriebszuständen wirken können. Die gattungsbildende Druckschrift unterscheidet dabei drei Betriebsphasen. Zum einen erfolge bei konstanter Druckeinstellung die Luftmassenstromereinstellung
- 35 ausschließlich über die Ventilhubverstellung. Zum anderen wird, wenn die Einlassventile auf maximalen Ventilhub gestellt sind, eine weitere Füllungserhöhung über Ansteuerung

der Drosselklappe bewirkt. In einem Übergangsbereich zwischen diesen beiden Regelansätzen erfolgt eine gegensinnige Ansteuerung von Drosselklappe und Ventilhubverstellung. Dabei wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Abhängigkeiten  
5 zwischen Ventilhubverstellung und Differenzdruck bekannt und in einer elektronischen Steuereinheit abspeicherbar sind.

Das Verfahren nach DE 199 28 560 A1 benötigt einen relativ großen Speicherplatzaufwand, da für diese Abhängigkeiten umfangreiche Datensätze abgelegt und während der Regelung verwendet werden müssen, um den Betrieb im Übergangsbereich zu realisieren.  
10

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren hinsichtlich des Speicheraufwandes zu verbessern und damit den Verfahrensablauf zu vereinfachen.  
15

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass, solange das zweite Stellglied nicht an der unteren Endstellung steht, der Soll-Ansaugrohrdruck mittels eines drehzahlabhängigen Kennfeldes ermittelt wird, in das der Soll-Luftmassenstrom nicht eingeht, wobei eine Begrenzung des Soll-Ansaugrohrdruckes auf einen Ansaugrohrdruck-Minimalwert vorgenommen wird, der beim aktuellen Soll-Luftmassenstrom mit an die obere Endstellung gestelltem zweiten Stellglied erreichbar ist.  
20  
25

Erfindungsgemäß wird der Soll-Ansaugrohrdruck unter Rückgriff auf ein soll-luftmassenstromunabhängiges Kennfeld ermittelt und erst, wenn das zweite Stellglied an die obere Endstellung gelangt, werden die beiden Stellglieder enger gekoppelt. Dieser Ansatz erlaubt es nicht nur, den Speicher- und Datenverarbeitungsaufwand bei der Ausführung des Verfahrens zur Füllungsregelung stark zu reduzieren, insbesondere ist es nicht mehr erforderlich, dass eine Abhängigkeit detailliert in Form großer Datenmengen hinterlegt werden muss, sondern ermöglicht auch ein besseres Regelungsergebnis, da die zwei Stellglieder  
30  
35

eigenständig geregelt werden, solange der Soll-Ansaugrohrdruck aus dem Kennfeld stammt, also keine Endstellung des zweiten Stellgliedes vorliegt.

- 5     Darüber hinaus ist für die Bestimmung der Soll-Ansaugrohrdrücke an den Endstellungen des zweiten Stellgliedes die Verwendung eines invertierbaren Modells möglich, das nicht nur Rechenzeit bzw. Speicherbedarf spart, sondern auch in invertierter Form beim Regelungsverfahren an anderer Stelle Eingang finden kann, wenn eine Verknüpfung von Luftmassenstrom, Ansaugdruck und der Lage des zweiten Stellgliedes benötigt wird. Dies ist beispielsweise bei der Berechnung des Soll-Lage des zweiten Stellgliedes der Fall, die in einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die besonders  
10    rechensparsam ausgeführt werden kann, mittels einer Invertierung des Massenstrommodells aus dem Soll-Luftmassenstrom und der Ist-Ansaugrohrdruck bestimmt wird.

- Die Invertierbarkeit des Modells kann besonders einfach erreicht werden, wenn das Massenstrommodell eine monotone Kennlinie aufweist, die die Lage des zweiten Stellgliedes, den Luftmassenstrom und den Ansaugrohrdruck verknüpft. Die Invertierung des Modells bringt dann eine einfache Kennlinieninversion mit sich, die aufgrund der Monotonität der Kennlinie  
20    einfach ausführbar ist und zu eindeutigen Ergebnissen führt.

- Für die Ansteuerung des ersten Stellgliedes kann ebenfalls ein Modell verwendet werden, das den Soll-Luftmassenstrom und den Soll-Ansaugrohrdruck in eine Soll-Lage des ersten Stellgliedes umsetzt. Die Verwendung eines solchen Modells führt zu einer besonders exakten und rechensparenden Gewinnung der Soll-Lage des ersten Stellgliedes.  
30

- Durch die Verwendung einer luftmassenstromeinflussfreien Erzeugung des Soll-Ansaugrohrdruckes für Zustände, in denen das zweite Stellglied nicht an einer Endstellung ist, werden  
35    glatte Übergänge zwischen Bereichen, in denen die Füllungs-

steuerung durch die geeignete Betätigung des zweiten Stellgliedes bewirkt wird, und Bereichen, in denen dazu ein Eingriff über die Drosselklappe erfolgt, erreicht. Dies führt zu einer einfachen Reglerstruktur bei der mit nur wenigen Parametern eine gute Abstimmung auf ein Brennkraftmaschinenmodell erreicht werden kann. Dies gilt insbesondere, da für die Füllungs-berechnung bei Brennkraftmaschinen, die nur ein erstes Stellglied, jedoch kein zweites Stellglied aufweisen, bereits Modelle verwendet werden. Der erfindungsgemäße Ansatz erlaubt es alle möglichen Betriebsarten abzudecken, von stark gedrosselt bis zu Volllast.

In Betriebszuständen, in denen das zweite Stellglied an der unteren Endstellung anliegt, d.h. eine weitere Beeinflussung der Füllung in den Brennräumen der Brennkraftmaschine durch das zweite Stellglied nicht mehr möglich ist, ist zur Luftmasseneinstellung ein zusätzlicher Eingriff über das erste Stellglied unvermeidlich, da dann der Soll-Ansaugrohrdruck durch die Endstellungen bestimmt ist und zugleich luftmassenstromabhängig wird. Es ist deshalb eine Weiterbildung der Erfindung bevorzugt, bei der der Soll-Ansaugrohrdruck ohne das erfindungsgemäße Modell bestimmt und das erste Stellglied betätigt wird, um den Soll-Luftmassenstrom einzustellen, wenn das zweite Stellglied an die untere Endstellung gestellt ist.

Als Stellglieder kommen bei einer Brennkraftmaschine insbesondere eine Drosselklappe für das erste Stellglied und eine Vorrichtung zur Verstellung des Hubverlaufes bei Einlassventilen für ein zweites Stellglied in Frage. Es ist deshalb bevorzugt, dass das erste Stellglied ein in einem Ansaugtrakt liegende Drosselklappe und als zweites Stellglied Einlassventile mit variabler Hubverstellung verwendet werden. Natürlich können auch beliebige andere Stellglieder Anwendung finden, beispielsweise elektromagnetisch angetriebene Ventile, die ein Beispiel für Einlassventile sind, bei denen nicht der Maximalhub, jedoch die Öffnungsdauer verstellt werden kann. Alternativ zu einer Drosselklappe kann es sich beim ersten

Stellglied auch um die Ansteuerung einer geeigneten Aufladevorrichtung, beispielsweise eines Turbinenladers mit variabler Geometrie oder eines Kompressors handeln.

- 5    Sehr häufig werden Brennkraftmaschinen heute in Kraftfahrzeugen eingesetzt. Für eine solche Anwendung ist es zu bevorzugen, dass der Soll-Luftmassenstrom aus einem Fahrerwunschsinal abgeleitet wird.
- 10   Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf jede Brennkraftmaschine angewendet werden, die zwei Stellglieder im Ansaugtrakt aufweist, welche hintereinandergeschaltet jeweils den Luftmassenstrom durch den Ansaugtrakt beeinflussen. In der Regel wird es sich dabei um eine Drosselklappe sowie eine
- 15   Ventilhubverstellung, mit der das Verhalten der Einlassventile während des Öffnens beeinflusst werden kann, handeln. Dabei ist eine Verstellung der Einlassventilsteuerezeiten ebenso denkbar, wie eine Verstellung des maximalen Hubes, den die Einlassventile während der Öffnung ausführen können. Dabei
- 20   sind auch nur diskontinuierlich verstellbare Einlassventile für das erfindungsgemäße Verfahren tauglich, beispielsweise Einlassventile, die zwischen zwei unterschiedlichen Maximalhuben verstellt werden können.
- 25   Das erfindungsgemäße Verfahren schafft die Grundlage für eigenständige Regelungen der beiden Stellglieder, z.B. einer Drosselklappe und einer Ventilhubverstellung. Damit kann zwischen ungedrosseltem Betrieb, in dem z.B. der Luftmassenstrom der Verbrennungs-Luft nur über die Ventilhubverstellung ge-
- 30   steuert wird, und herkömmlichem, gedrosselten Betrieb, in dem Einlassventile mit festen maximalem Ventilhub betrieben werden und die Füllung über eine Drosselklappe geregelt wird, ein gleitender Übergang erreicht werden.
- 35   Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beispielhalber noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine Prinzipdarstellung eines Ansaugtraktes einer Otto-Brennkraftmaschine,
- 5 Fig. 2 ein Blockschaltbild zur Ermittlung von Sollwerten für Drosselklappenstellung und Ventilhub bei einer Brennkraftmaschine und
- 10 Fig. 3 die zugehörige Regelungsstruktur für ein Verfahren zur Füllungsregelung bei einer Otto-Brennkraftmaschine.

Die Brennkraftmaschine 1 ist hinsichtlich ihrer Ansaugseite in Fig. 1 schematisch dargestellt. Sie weist ein Ansaugrohr 2 auf, über das Verbrennungsluft in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1 gelangt. In Fig. 1 ist schematisch ein Brennraum 3 dargestellt. Abgase der Verbrennung strömen in einen Abgastrakt 4. Der Brennraum 3 wird zum Ansaugrohr 2 über ein Einlassventil 5 sowie zum Abgastrakt 4 über ein Auslassventil 6 abgeschlossen. In den Brennraum ragt weiter eine Zündkerze 7, die angesaugtes und verdichtetes Gemisch entzündet.

Der Hub des Einlassventils 5 ist über eine Ventilhubverstellereinheit 8, die in Fig. 1 schematisch durch einen Doppelpfeil angedeutet ist, verstellbar. Dabei vollführt das Einlassventil 5, das über einen (nicht dargestellten) Nockenwellenantrieb betätigt wird, je nach Einstellung der Ventilhubverstellereinheit 8 einen unterschiedlich großen Maximalhub, der zwischen einem minimalen und einem maximalen Ventilhubwert liegt. Es wird der Einfachheit halber hier lediglich von dem „Ventilhub“ gesprochen, womit die maximale Erhebung des Einlassventils 5 während eines Öffnungsvorgangs gemeint ist. Der Ventilhub wird von einem (in Fig. 1 nicht dargestellten) Ventilhubsensor abgefühlt.

35 Im Ansaugrohr 2 befindet sich weiter eine Drosselklappe 9, die von einem Stellantrieb mit Lagerückmeldung betätigt wird. Zur Lagerückmeldung ist ein (in Fig. 1 nicht eingezeichneter)



Drosselklappensensor vorgesehen, der einen Messwert über den Öffnungswinkel der Drosselklappe, also über die Drosselklappenstellung liefert.

- 5 Der Drosselklappe 9 ist in Strömungsrichtung ein Luftmassenstromsensor 10 in der Nähe des Einlasses des Ansaugrohres 2 vorgeordnet, der den in das Ansaugrohr 2 einströmenden Luftmassenstroms MF erfasst. Ein solcher Luftmassenstromsensor 10 ist für luftmassengeführte Steuerungssysteme von Brennkraft-
- 10 maschinen bekannt.

Weiter befindet sich zwischen der Drosselklappe 9 und dem Einlassventil 5 ein Drucksensor 11, der dort den Druck im Ansaugrohr 2 misst. Eine solche Messung des Ansaugrohrdruckes P

15 ist bei saugrohrdruckgeführten Füllungsregelungssystemen bekannt.

Fig. 2 zeigt in einem Blockschaltbild einzelne bei der Durchführung eines Verfahrens zur Füllungsregelung ablaufende

20 Funktionen. Dabei sind einzelne Verarbeitungsböcke sowie die zwischen ihnen transmittierten Größen eingezeichnet. Soll-Größen ist ein „s“ vorangestellt, modellierten Größen ein „m“ und Ist-Größen ein „i“, um die Unterscheidung zu erleichtern.

25 Das Verfahren wird dabei von einem Steuergerät 12 ausgeführt, dem diverse Messwerte über Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 zugeführt werden. An der Brennkraftmaschine 1 wird über den Luftmassenstromsensor 10 der Ist-Wert des Luftmassenstromes MF erfasst. Der Drucksensor 11 misst den Ist-Wert

30 des Ansaugrohrdruckes P. Der Ventilhubsensor 13 erfasst den Ist-Wert des Ventilhubes V, ein Drehzahlsensor misst die Drehzahl N und der Drosselklappensensor 15 liefert an seinem Ausgang den Ist-Wert der Drosselklappenstellung D. Die Ist-Werte für Ventilhub iV, Drosselklappenstellung iD, Ansaugrohrdruck iP und Drehzahl N werden vom Steuergerät 12 einge-

35 lesen.

Das Steuergerät 12 ermittelt im Betrieb fortlaufend Soll-Werte für die Drosselklappenstellung  $s_D$  und den Ventilhub  $s_V$  und wendet dazu ein Schema an, dass als Blockschaltbild in Fig. 2 dargestellt ist. Dieses Schema weist, wie in Fig. 2 gut zu erkennen ist, im wesentlichen zwei Zweige auf, einen zur Ermittlung des Soll-Wertes der Drosselklappenstellung  $s_D$  (in Fig. 2 oben gezeichnet) und einen zur Ermittlung des Soll-Wertes für den Ventilhub  $s_V$  (in Fig. 2 unten gezeichnet): Die beiden Zweige sind jedoch miteinander über Querverbindungen, die noch erläutert werden, verknüpft.

Zielgröße zur Ermittlung der Soll-Drosselklappenstellung  $s_D$  ist der Soll-Ansaugrohrdruck  $s_P$ . Um diesen zu berechnen, wird zuerst in einem Kennfeld 21 ausgehend von Drehzahl  $N$  und Temperatur der Ansaugluft  $T$  ein Basisdruck  $P_{NT}$  im Ansaugrohr bestimmt, der beim vorliegenden Betriebspunkt (bezogen auf die Drehzahl  $N$  und Temperatur  $T$ ) gegeben sein sollte. Dieser Wert wird zusammen mit einer Druckanforderung  $P_{EXT}$ , die von externen Funktionen, z.B. einer Tankentlüftung stammt, einer Minimalauswahleinheit 22 zugeführt, die am Ausgang den kleineren der am Eingang zugeführten Werte abgibt, so dass dort ein Wert für einen Ansaugrohrdruck-Basiswert  $P_{MIN-BAS}$  anliegt. Dieser Basiswert wird zusammen mit einem unteren Druckwert  $P_{MIN-V}$  einer Maximalauswahleinheit 23 zugeführt, die den größeren der beiden Werte an den Ausgang durchschaltet, so dass dort ein Ansaugrohrdruck-Zwischenwert  $P-1$  anliegt.

Beim unteren Druckwert  $P_{MIN-V}$  handelt es sich um denjenigen Ansaugrohrdruck, der bei maximalem Ventilhub  $V$  beim durch den Soll-Luftmassenstrom gewünschten Betriebspunkt erhalten wird. Der Wert stammt aus einem Massenstrommodell 25, in das der Soll-Wert für den Luftmassenstrom  $s_{MF}$  und ein Wert für den maximalen Ventilhub  $V_{MAX}$  eingehen. Auf dieses Modell wird später noch genauer eingegangen werden.

Der Soll-Zwischenwert  $P-1$  wird einem Schalter 24 zugeführt, der an einem weiteren Eingang einen weiteren Ansaugrohrdruck-Zwischenwert  $P-2$  empfängt. Dieser weitere Zwischenwert  $P-2$

stammt ebenfalls aus dem Massenstrommodell 25, das am einen Eingang ebenfalls den Soll-Wert für den Luftmassenstrom sMF empfangt. Am anderen Eingang wird dem Massenstrommodell 25 zur Berechnung des weiteren Zwischenwertes P-2 der Ist-Wert für den Ventilhub iV eingespeist. Dabei handelt es sich tatsächlich, wie die weitere Beschreibung noch zeigen wird, um den Ventilhub an der oberen Endstellung.

Der Schalter 24 schaltet einen der beiden Eingänge auf den Ausgang durch, wobei die Schalterstellung (Position „1“ oder Position „2“) von einem Steuersignal abhängt, dessen Herkunft später noch erläutert wird. Hier ist bloß wesentlich, dass der Schalter auf Stellung „1“ ist, wenn sich der Ventilhub nicht am unteren Endstellungswert befindet. In diesem Fall wird also der weitere Zwischenwert P-2 am Ausgang als Soll-Wert für den Ansaugrohrdruck sP abgegeben. Zusammen mit dem Soll-Wert für den Luftmassenstrom sMF wird daraus dann in einem Drosselklappenmodell 26 ein Soll-Wert für die Drosselklappenstellung sD bestimmt. Dieses Modell wird nachfolgend noch erläutert.

Im Zweig zur Bestimmung des Soll-Wertes für den Ventilhub sV wird zuerst in einem Kennfeld 27 aus der Drehzahl N und dem Ist-Wert für den Ansaugrohrdruck iP ein Wert für einen minimalen Ventilhub VMIN ermittelt. Es handelt sich dabei um denjenigen Wert, der beim aktuellen Betriebspunkt mindestens für den Ventilhub eingestellt werden kann.

Parallel dazu wird in einem invertierten Massenstrommodell 28 aus dem Ist-Wert des Ansaugrohrdruckes iP und dem Soll-Wert für den Luftmassenstrom sMF ein Ventilhub-Zwischenwert V-1 ermittelt. Das invertierte Massenstrommodell 28, das dabei verwendet wird, ist exakt invers zum Massenstrommodell 25, das im oberen Zweig des Blockschaltbildes der Fig. 2 zur Ermittlung des Soll-Wertes für den Ansaugrohrdruck sP verwendet wird.

Der Ventilhub-Zwischenwert V-2 und der Soll-Wert für den minimalen Ventilhub VMIN werden in einer Maximalauswahleinheit 29 dahingehend ausgewertet, dass der größere der beiden Werte als ein Ventilhubzwischenwert V-2 am Ausgang abgegeben wird.

5

Dieser wird dann an einen Eingang „1“ eines Schalters 30 gelegt, an dessen Eingang „2“ ein externer Ventilhubwert VEXT eingespeist wird. Die Stellung des Schalters 30 hängt von einem externen Steuersignal EXT ab. Mit diesem Steuersignal EXT wird auf den Eingang „2“ umgeschaltet, wenn ein bestimmter Ventilhub VEXT zwangsweise vorgegeben werden soll, beispielsweise im Start der Brennkraftmaschine, bei Fehlerzuständen, während Adaptionläufen u.ä. Im Normalbetrieb bewirkt das Steuersignal EXT, dass der Schalter 30 auf der Position „1“ steht, so dass der am Ausgang abgegebene Soll-Wert für den Ventilhub sV identisch ist mit dem Ventilhub-Zwischenwert V-2.

Der derart ermittelte Soll-Wert für den Ventilhub sV wird einer Vergleichseinheit 31 eingespeist, die weiter am Eingang noch den Ventilhub-Zwischenwert V-1 empfängt. Sind die beiden Werte gleich, d.h. stammt der Soll-Wert für den Ventilhub sV letztlich aus dem invertierten Massenstrommodell 28, so gibt die Vergleichseinheit 31 an ihren Ausgang ein Signal ab, das den Schalter 24 des oberen Zweigs des Blockschaltbilds der Fig. 2 in die Position „1“ schaltet. Sind die Werte nicht gleich, d.h. ergab sich der Soll-Wert für den Ventilhub sV aus dem externen Ventilhubwert VEXT oder dem minimalen Ventilhubwert VMIN, so liegt der Schalter 24 in Position „2“:

30

Somit verwendet das Massenstrommodell 25 bei Schalterstellung „2“ tatsächlich als Ist-Lage iV die Endstellung, nämlich den aktuellen minimalen Ventilhubwert VMIN (bzw. den externen Wert VEXT).

Der Ausgang der Vergleichseinheit 31 stellt nicht die einzige Verknüpfung des oberen mit dem unteren Zweig des Blockschaltbildes der Fig. 2 dar. Weitere Verknüpfungen sind dadurch ge-

- geben, dass zum einen der Ventilhub-Zwischenwert V-1 mit einem invertierten Massenstrommodell 28 errechnet wird, das ebenfalls - allerdings in der ursprünglichen nicht-invertierten Form - bei der Berechnung des Ansaugrohrdruck-Zwischenwertes P-2 eingeht. Eine weitere Verknüpfung besteht darin, dass sowohl der obere als auch der untere Zweig den Soll-Wert für den Luftmassenstrom SMF verarbeiten. Gleiches gilt für die Drehzahl N.
- Schließlich ist eine weitere Verknüpfung im Regelkreis dadurch gegeben, dass der obere Zweig des Blockschaltbildes der Fig. 2 den Soll-Wert für den Ansaugrohrdruck sP ermittelt, der untere Zweig den Ist-Wert für den Ansaugrohrdruck iP berücksichtigt.
- Diese regelungstechnische Verknüpfung ist in Fig. 3 detaillierter dargestellt, die als Blockschaltbild die Reglerstruktur zeigt. Darin weist das Steuergerät 12 einen Vorwärtsblock 16 sowie einen Rückwärtsblock 17 auf. Im Vorwärtsblock 16 werden modellierte Werte für Luftmassenstrom MF und Ansaugrohrdruck P bestimmt. Der Vorwärtsblock 16 verfügt über eine Modelleinheit 18 sowie ein Abgleichmodul 19, deren Funktion noch erläutert wird.
- Die Modelleinheit 18 empfängt die Ist-Werte für Ventilhub iV und Drosselklappenstellung D sowie den Messwert der Drehzahl N und für berechnet in Abhängigkeit von diesen Eingangsgrößen Modellwerte für den Ansaugrohrdruck mP und den Luftmassenstrom mMF. Dabei können noch weitere Einflussgrößen, wie Temperatur im Ansaugrohr 2 usw. berücksichtigt werden. Das Modell legt folgende Gleichung 1 zugrunde

$$mMF = C \times Q \times LD \times PSI, \quad (\text{Gleichung 1})$$

- in der C eine temperaturabhängige Konstante, Q eine Querschnittsfunktion der Drosselklappe, LD den Umgebungsluftdruck und PSI eine Psifunktion bedeuten. Die Konstante C gibt die

Temperatureinflüsse auf die Gasströmung wieder und kann entweder einem geeigneten Kennfeld entnommen werden oder durch folgende Gleichung 2 aus der Gaskonstante G, der Lufttemperatur T und einem dem Isotropenexponent K des Gases (bei Luft 1,4) berechnet werden:

$$C = \sqrt{\frac{2K}{(K-1)}} \frac{1}{GT} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Die Querschnittsfunktion Q definiert den von der Drosselklappe 9 in Abhängigkeit der Drosselklappenstellung D freigegebenen Strömungsquerschnitt und wird durch Rückgriff auf eine geeignete Kennlinie bestimmt. Die Psi-funktion PSI gibt abhängig vom Druckgradienten über die Drosselklappe, d.h. vom Quotienten aus Ansaugrohrdruck P und Luftdruck LD einen Wert wieder; sie ist in der Technik dem Fachmann bekannt.

Der derart berechnete modellierte Luftmassenstrom mMF wird von der Modelleinheit 18 unter anderem an das Abgleichmodul 19 ausgegeben.

Zur Berechnung des modellierten Ansaugrohrdruckes mP stellt die Modelleinheit 18 eine Bilanzierung der Massenströme im Ansaugrohr nach folgender Gleichung 3 auf

$$mP = \frac{G \cdot T}{VOL} \int (MF - MZ) dt, \quad (\text{Gleichung 3})$$

in der VOL das Ansaugrohrvolumen zwischen Drosselklappe und Einlassventil und MZ den Luftmassenstrom in den Zylinder bezeichnen. Der Luftmassenstrom in den Zylinder kann dabei durch folgende Gleichung 4 berechnet werden

$$MZ = VF \cdot (F1 \cdot mP - F2), \quad (\text{Gleichung 4})$$

in der VF eine Ventilhubfunktion wiedergibt, d.h. den Einfluss des Ventilhubs V auf den in den Zylinder strömenden Luftmassenstrom MF bezeichnet. Die Faktoren F1 und F2 sind

drehzahl- und betriebsparameterabhängige Volumenwirkungsgrade, wobei F1 die Steigung einer Wirkungsgradkurve und F2 deren Nullwert (Offset) bezeichnet.

- 5 Die beiden Gleichungen 3 und 4 ergeben eine Differentialgleichung aus der der modellierte Ansaugrohrdruck  $m_P$  als Funktion des Luftmassenstromes  $M_F$  sowie der Parameter, die in die Ventilhubfunktion  $V_F$  und die Faktoren F1 und F2 eingehen, berechnet werden kann. Es handelt sich dabei somit um das Massenstrommodell, das bezüglich Fig. 2 erwähnt wurde.

10 Durch Lösen dieser Differentialgleichung, wie es beispielsweise in der EP 0 820 559 B1 beschrieben ist, bestimmt die Modelleinheit 18 den modellierten Ansaugrohrdruck  $m_P$  und gibt diesen am Ausgang an das Abgleichmodul 19 aus.

Das Abgleichmodul 19 berechnet nun aus der Differenz zwischen modellierten und Ist-Größen für Ansaugrohrdruck  $P$  und Luftmassenstrom  $M_F$  Abgleichparameter  $A$  und beaufschlagt damit sowohl die Modelleinheit 18 als auch eine im Rückwärtsblock 17 vorgesehene Inversmodelleinheit 20. Dadurch ist zwischen Abgleichmodul 19 und Modelleinheit 18 ein Regelkreis geschlossen, der Abweichungen zwischen modelliertem Luftmassenstrom  $m_{MF}$  sowie Ist-Luftmassenstrom  $i_{MF}$  über Eingriffe auf die Querschnittsfunktion  $Q$  sowie den verwendeten Wert des Umgebungsluftdrucks  $LD$ , d.h. den Luftdruck vor der Drossel, ausregelt. Ähnliches gilt für die Lösung der Differentialgleichung, in der dann bereits der verbesserte modellierte Luftmassenstrom  $m_{MF}$  eingeht. Das Abgleichmodell 19 zieht dazu die vom Luftmassenstromsensor 10 und dem Drucksensor 11 gelieferten Ist-Werte über Ansaugrohrdruck  $i_P$  und Luftmassenstrom  $i_{MF}$  heran.

35 Im Rückwärtsblock 17, der die Inversmodelleinheit 20 aufweist, wird nun das in der Modelleinheit 18 ausgeführte Modell in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, wobei die Soll-Werte für Ansaugrohrdruck  $s_P$  und Luftmassenstrom  $s_{MF}$

eingehen, um Soll-Werte für Drosselklappenstellung  $D$  und Ventilhub  $V$  zu bestimmen. Der Soll-Wert für den Ansaugrohrdruck  $sP$  wird dabei mit dem in Fig. 2 schematisch gezeigten Verfahren erzeugt. Der Soll-Luftmassenstrom stammt von einem Fahrpedalgeber.

Die Abgleichparameter hinsichtlich Querschnittsfunktion  $Q$  bzw. Druck vor der Drosselklappe werden dabei ebenfalls berücksichtigt. Mittels der Gleichung 1 wird nun der Wert für die Querschnittsfunktion  $Q$  bestimmt, wobei anstelle des modellierten Wertes nun der Soll-Wert für den Luftmassenstrom  $sMF$  eingesetzt wird. Aus dem Wert für die Querschnittsfunktion  $Q$  wird über die Kennlinie die Soll-Drosselklappenstellung  $sD$  bestimmt. Dies entspricht dem Drosselklappenmodell 26 der Fig. 2. Weiter wird der Soll-Wert der Ventilhubstellung  $sV$  ermittelt, wie zu Fig. 2 erläutert. Diese Soll-Werte werden dann an der Brennkraftmaschine 1 eingestellt.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Füllungsregelung einer Brennkraftmaschine (1), deren Brennkammern (3) ein Verbrennungs-Luftmassenstrom  
5 zugeführt wird, welcher durch ein erstes und ein zweites Stellglied (8, 9) auf einen Soll-Luftmassenstrom (sMF) eingestellt wird, die hinsichtlich ihrer Lage angesteuert werden, wobei  
das zweite Stellglied (8) im Luftmassenstrom dem ersten  
10 Stellglied (9) nachgeordnet ist und eine obere Endstellung, bei der es maximal geöffnet ist und eine untere Endstellung, bei der es maximal geschlossen ist, aufweist, die Ist-Drehzahl (N) der Brennkraftmaschine (1) erfasst wird, und  
15 zur Ansteuerung des ersten Stellgliedes (9) ein Soll-Ansaugrohrdruck (sP) vorgegeben wird,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass, solange das zweite Stellglied (8) nicht an der untere Endstellung steht, der Soll-Ausgangsrohrdruck (sP) mittels eines drehzahlabhän-  
20 gigen Kennfeldes (21) ermittelt wird, in das der Soll-Luftmassenstrom (sMF) nicht eingeht, wobei eine Begrenzung des Soll-Ansaugrohrdruckes (sP) auf einen Ansaugrohrdruck-Minimalwert (PMIN-V) vorgenommen wird, der beim aktuellen Soll-Luftmassenstrom (sMF) mit an die obere Endstellung ge-  
25 stelltem zweiten Stellglied (8) erreichbar ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung des Ansaugrohrdruck-Minimalwertes (PMIN-V) ein invertierbares numerisches Massenstrommodell (25) verwendet  
30 wird, in das neben dem Soll-Luftmassenstrom die Lage der oberen Endstellung des zweiten Stellgliedes (8) eingeht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein soll-luftmassenstromabhängiger Soll-Ansaugrohrdruck  
35 (sP) verwendet wird, wenn das zweite Stellglied (8) an der unteren Endstellung steht.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass der soll-luftmassenstromabhängige Soll-Ansaugrohrdruck (sP) gemäß Anspruch 3 mit dem Massenstrommodell gemäß Anspruch 2 ermittelt wird, in das neben dem Soll-Luftmassenstrom die Lage des zweiten Stellgliedes (8) an der unteren Endstellung eingeht.
5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ansteuerung des zweiten Stellgliedes (8) eine Invertierung (28) des numerischen Massenstrommodells (25) verwendet wird, die aus dem Soll-Luftmassenstrom (sMF) und dem Ist-Ansaugrohrdruck (iP) eine Soll-Lage (sV) des zweiten Stellgliedes (8) bestimmt.
6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ansteuerung des ersten Stellgliedes (9) ein Modell (26) verwendet wird, das aus dem Soll-Luftmassenstrom (sMF) und dem Soll-Ansaugrohrdruck (sP) eine Soll-Lage (sD) des ersten Stellgliedes (9) bestimmt.
7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Massenstrommodell (25) eine monotone Kennlinie aufweist, die die Lage des zweiten Stellgliedes (8) mit dem Luftmassenstrom (MF) und dem Ansaugrohrdruck (P) verknüpft.
8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Stellglied (9) betätigt wird, um den Soll-Luftmassenstrom (sMF) einzustellen, wenn das zweite Stellglied (8) an die untere Endstellung gestellt ist.
9. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als erstes Stellglied ein in einem Ansaugtrakt liegende Drosselklappe (9) und als zweites Stellglied Einlassventile (8) mit variabler Ventilhub-Verstellung verwendet werden.

10. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Luftmassenstrom (SMF) aus einem Fahrerwunschsignal abgeleitet wird.

FIG 1

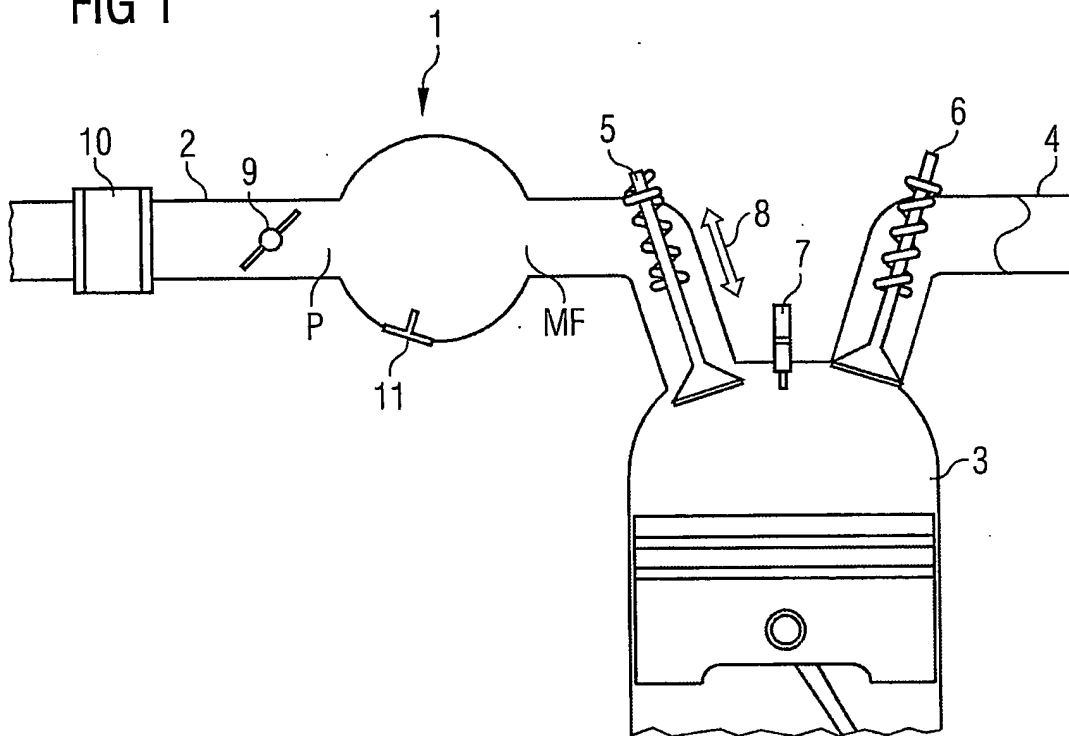


FIG 2

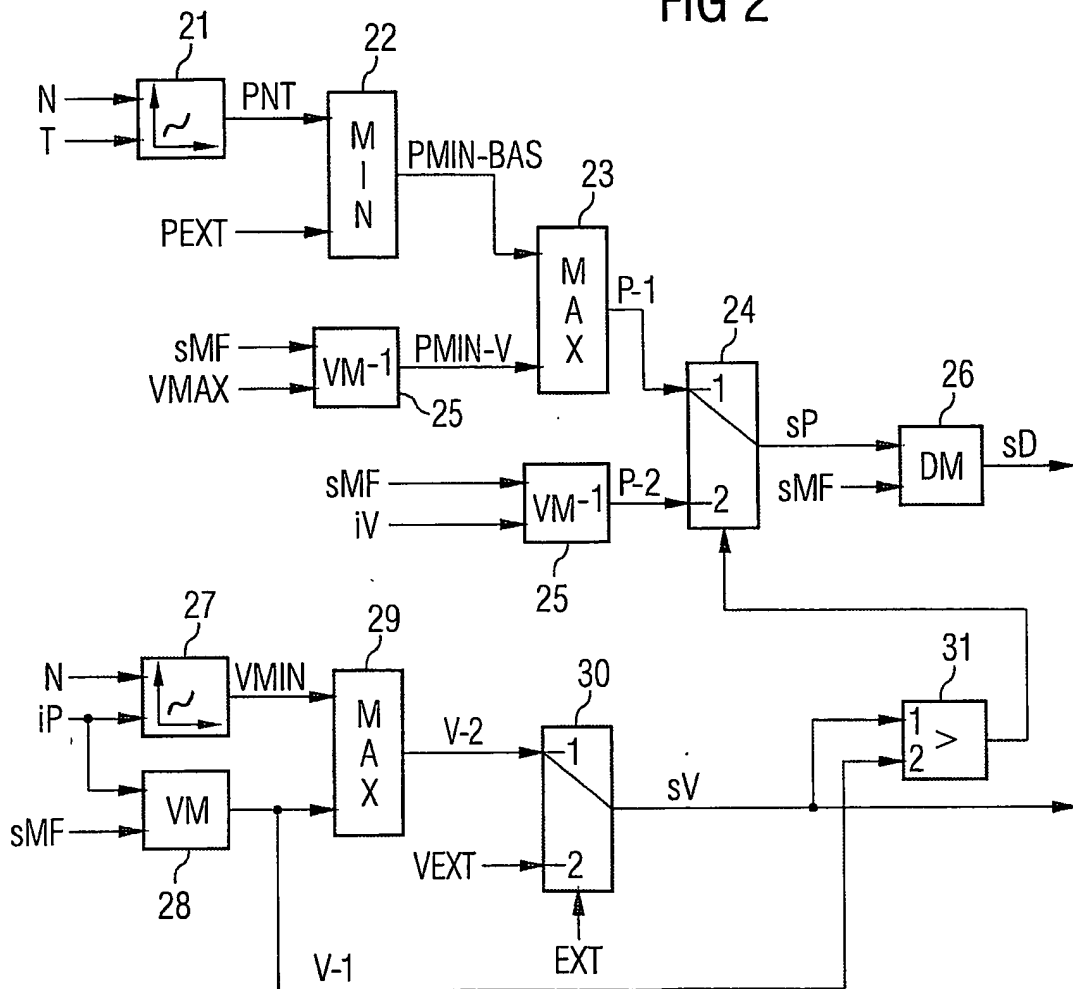


FIG 3

